

HIGH-POWER TEST OF S-BAND KLYSTRON FOR LONG-PULSE OPERATION

Y. Morii*, E. Oshita, S. Abe, T. Keishi and T. Tomimasu
Free Electron Laser Research Institute, Inc.(FELI)
4547-44, Tsuda, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

Y. Ohkubo, M. Yoshinao and H. Yonezawa
Toshiba Corporation, Electron Tube Division
1385, Shimoishigami, Otawara, Tochigi 324, Japan

ABSTRACT

FELI (Free Electron Laser Research Institute, Inc.) is constructing a free electron laser facility covering from $20\mu\text{m}$ (infra red region) to $0.35\mu\text{m}$ (ultra violet region), using an S-band linac. The linac is commissioning now.

An RF system of the linac for FELs is required of long pulse duration and high stability. S-band klystrons (TOSHIBA E3729) of the FELI linac are operated in three pulse operation modes (pulse width and peak RF power; $24\mu\text{s}$ - 24MW , $12.5\mu\text{s}$ - 34MW , $0.5\mu\text{s}$ - 70MW). The S-band klystron and its modulator were combined to test their performance. The high power test results of the S-band klystron are summarized in this paper.

Sバンド長パルスクライストロンの大電力試験

1. はじめに

自由電子レーザー研究所(FEL研)では、電子リニアックによる波長 $20\mu\text{m}$ の中赤外から $0.35\mu\text{m}$ の紫外域までの自由電子レーザー(FEL)を発振させ、このFELを利用した技術開発をめざしている。現在リニアックの据え付けが完了し、赤外域のFELの発振をめざして調整中である¹⁾。

安定した質のよいFELを発振させるために、リニアックのRF源には次の点が要求される²⁾。

- (1)パルス幅が長い。
- (2)出力のフラットネスと安定度が良い。
- (3)位相が安定である。

FEL研のRF系ではRF出力の安定度で0.2%、クライストロン電源の電圧安定度では0.08%以下を仕様とした。またパルス幅では可視紫外域のFEL用に $24\mu\text{s}$ 、赤外用に $12.5\mu\text{s}$ 、リングFEL用の蓄積リング入射用に高出力短パルスの $0.5\mu\text{s}$ の3種類とした。

長パルスで高安定のクライストロンとクライストロン電源を開発する困難さと、長パルスの試験電源に実機を使わざるをえないこと、1994年1月より現地据え付け調整、4月に運転開始という厳しいスケジュールを考慮し、次の2度の組み合わせ試験を実施した。まず、1993年12月に電源メーカーの日新電機の工場にてクライストロンとクライストロン電源と

RF駆動源の組み合わせ試験を実施し、1994年2月にFEL研において2度目の組み合わせ試験を実施した。このようにして1回目の試験ででた問題点を手直しする期間を設けた。

2. Sバンドクライストロン

当初、我々の仕様を満たすクライストロンがなかったため、東芝E3712($4\mu\text{s}$ - 80MW , 50pps)を基に 30MW 程度の低出力で長パルス運転時の効率を改善したクライストロンE3729を開発した。FEL研の仕様では10ppsとデューティも低いので、E3712のカソードやコレクターをそのまま用いても熱的問題はない。キャビティのチューニングをずらし 30MW 付近の効率を改善したため、短パルス高出力運転時の効率は若干下がり、 70MW 程度となる。表1にクライストロンE3729の主なパラメータを示す。クライストロンは東芝の工場にて短パルス運転($4\mu\text{s}$ - 70MW)によるエージングを受けてきている。

表1 クライストロンE3729のパラメータ

モード	モード1	モード2	モード3
有効パルス幅(μs)	24	12.5	0.5
75%パルス幅(μs)	30	19	4
ピーク出力(MW)	24	34	70
ビーム電圧(kV)	285	304	390
ビーム電流(A)	280	305	477
パルス繰返し(Hz)	10	10	10

* Present Address: Toshiba Corp. Accelerator Group
1-1-6, Uchisaiwai-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 100, Japan

3. 試験システム

クライストロンの大出力試験セットの構成を図1に示す。RF源のドライバーアンプとパルサーはFEL研のリニアック用の実機を用いた。ドライバーアンプはシンセサイザの出力22.3125MHzを選倍器によって2856MHzにし、トランジスタアンプとクライストロンTH2436にて最大3kWまで増幅する³⁾。クライストロンパルサーは上記の3つのモードに対応し、ビーム電圧の平坦度が0.08%の電源である⁴⁾。

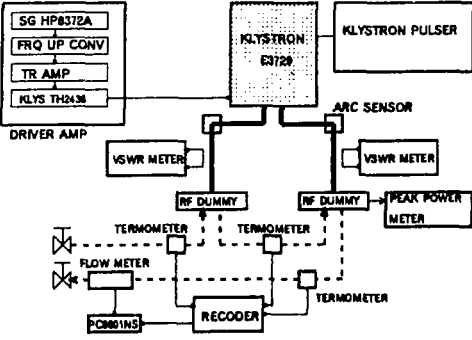


図1 大出力試験セット構成図

クライストロンの出力口は2カ所あり、それぞれの出力バランスを調べるためにも独立にRF出力を測定した。導波管はSF₆を充填している。ガス圧は2kg/cm²である。導波管のフランジはCPR型で、ゴムオウリングは銅箔で覆って接触性を良くしている。クライストロンの保護のためアークセンサーとVSWR計を取り付けた。長パルス運転では1ショットのエネルギーが大きくなるので、インターロックの応答速度を約5μsと高速にし、パルスの途中でも入力マイクロ波を止められるようにしてある。

RFダミーはプレミアマイクロウェイブ社のL284 BC16を用いた。RF出力の測定は、RFダミーの冷却水の温度上昇により求めた。温度センサーは測温抵抗体PT100、流量計は日本フローコントロール社のタービンメータHO1(精度±0.5%)を用いた。温度と流量をパソコンに取り込みピーク出力をリアルタイムで求めた。また参考にRFダミーのサンプラー出力(結合度50dB)をピークパワー計(HP89911A)でモニターした。クライストロンのビーム電圧はクライストロンマウント内の高圧側のC分圧器の出力を、電流はCTの出力をモニターした。

4. 試験結果

試験セットを組み上げた後、クライストロンの長

パルス運転のエージングを実施した。短パルス運転のエージングは済ませてあるが、モード1の24μsでは電子銃のエージングに1週間近く要した。その後出力が安定で効率の良い集束磁場を調べた。これは短パルス運転時には問題ないが、長パルス運転になると出力波形の後半が振動する不安定性が生じる時があるからである。各モードで得られた最大出力を表2に示す。

表2 E3729の到達最大出力

モード	モード1	モード2	モード3
パルス幅(μs)	24	12.5	0.5
RF出力(MW)	25	36	71
集束磁場端子NO	4	4	5
集束磁場電流(A)	16.5	17.0	18.0

モード2のビーム電圧とRF出力及び効率を図2に、またRF入力と出力の関係を図3に示した。

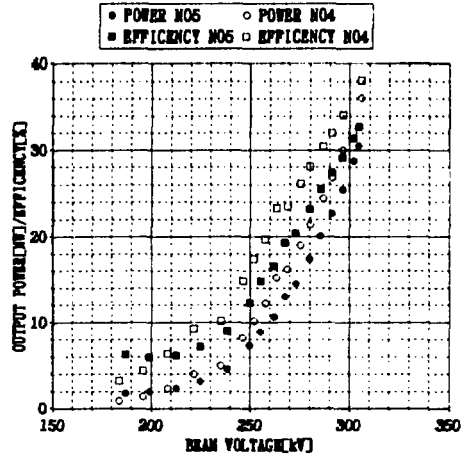


図2 ビーム電圧とクライストロンの出力と効率

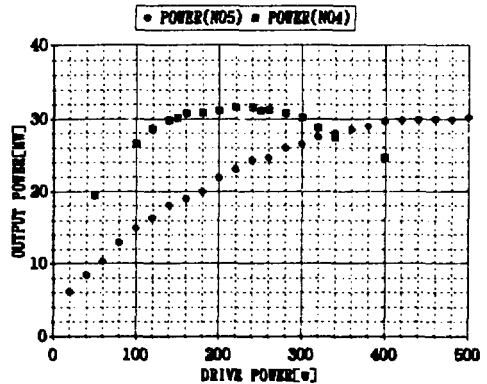
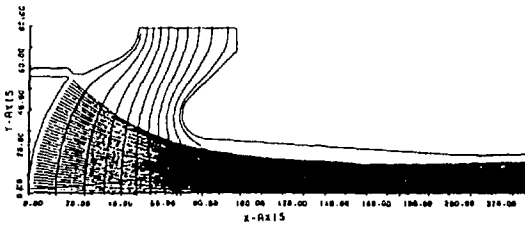
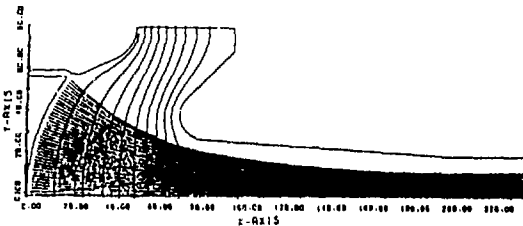


図3 RF入力と出力の関係

ここで集束磁場コイルの端子NO 4の方が高効率で、かつ低入力ですむことがわかる。この端子の違いによるビーム軌道の差を、E-Gunシミュレーションコードによって求めた結果を図4に示す。



(1) 集束磁場コイル端子NO 4でのシミュレーション結果



(2) 集束磁場コイル端子NO 5でのシミュレーション結果

図4 ビーム軌道シミュレーション

端子NO 4の方がビームが太く”やわらかい”ので入出力空洞との相互作用が起きやすく高効率になっていると考えられる。しかし端子NO 4の運転では、入力RFを過飽和にしたときに出力RFの波形の後半が振動する不安定性が生じた。このため通常の運転は効率が若干落ちるが常に安定な端子NO 5で行い、さらに出力の増加が必要な時は、RF波形をモニターしながら端子NO 4で運転することにした。ここで生じた不安定性の原因は、出力空洞の電界によって電子の一部がコレクターとは逆方向にもどされる戻り電子によるものと推定される。

モード1の出力RF波形を図5に示す。電源の電圧の平坦度が0.08%なので、出力RFも0.2%の平坦度を得ている。

導波管系においては短パルス70MWの運転では問題なく、長パルス24 μ s-24MWの運転ではアークの発生がたびたび生じた。導波管のフランジや方向性結合器の取り付け面でアークが生じた。このため実機の導波管のフランジは接合面のしっかりしているSLAC型に変更し、また方向性結合器も構造を改善した。またモード1の20MW以上の運転で、電子銃

の放電が生じなくなるまでには1カ月近く要した。

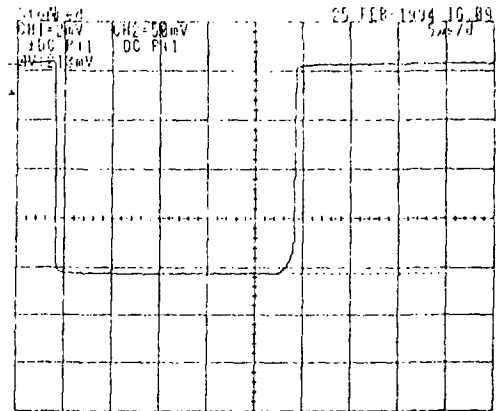


図5 モード1の出力波形

5. まとめ

Sバンドの長パルスクライストロンの出力試験を実施し、設計仕様値の24 μ s-24MW・12.5 μ s-34MW・0.5 μ s-70MWを達成した。効率を上げた集束磁場(端子NO 4)で入力RFの状況によっては、戻り電子による不安定性が見られた。2号機ではこの対策を施したい。

6. 謝辞

FEL研のRFシステムの検討・設計・製作に關して下記の方々にご指導ご協力をいただきました。Sバンドクライストロン電源について日新電機(株)の宮井裕三氏、伊藤勲氏、Sバンドの駆動用高周波源について(株)ダイヘンの三宅修治氏と(株)日本高周波の永塚賢治氏、佐藤和行氏、立体回路については同じく鈴木久仁於氏にお世話になりました。ここに厚くお礼申し上げます。

7. 参考文献

- 1) 富増, 他 "FEL研電子リニアックと赤外~紫外域FEL施設" in this proceedings
- 2) 森井, 他 "FEL研リニアックのRFシステム" 第18回リニアック研究会, KEK, p182(1993)
- 3) 安部, 他 "半導体スイッチを使用したクライストロン駆動用高周波源の開発" in this proceedings
- 4) 大下, 他 "Sバンドクライストロン用長パルス高平坦度パルス電源の開発" in this proceedings